



**TÍTULO: TEMPERATURAS DE LA SUPERFICIE DEL
OCÉANO RELACIONADAS CON LAS PRECIPITACIONES DE
VERANO EN EL CENTRO DE LA PAMPA**

“Trabajo final de graduación presentado para obtener el título de:
Ingeniero Agrónomo”

Autores: - Bazán Azargado, Ramiro Nicolás

- Montero, Federico Emmanuel

Director: Méndez, Mariano Javier

Cátedra de Agrometeorología y Climatología agrícola

Codirector: Riestra, Diego René

Cátedra de Agrotecnia

Evaluadores: Dr. Díaz Zorita, Martín

Cátedra de Cereales y Oleaginosas

Msc. Vergara, Graciela Teresa

Miembro de la Asociación Argentina de Agrometeorología

FACULTAD DE AGRONOMÍA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

Santa Rosa (La Pampa) – Argentina 2022

ÍNDICE

1. Resumen y Abstract.	1
2. Palabras claves - Key words.	2
3. Introducción.	2
<input type="checkbox"/> OBJETIVOS	7
Objetivo General	7
Objetivos Específicos	7
<input type="checkbox"/> HIPÓTESIS	7
4. Materiales y métodos (o Metodología empleada).	8
5. Resultados y discusión.	10
5.1 - Resultados	10
5.2 - Discusión	16
6.- Conclusiones.	19
7. Agradecimientos.	20
8.- Bibliografía.	20

1. Resumen y Abstract.

RESUMEN

La precipitación es clave en producciones de secano como las de La Pampa. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la temperatura superficial del mar (TSM) sobre las precipitaciones de diciembre en la región central del área agropecuaria de La Pampa. Para esto se emplearon registros de precipitaciones de la Estación de la Facultad de Agronomía (UNLPam) y la herramienta de correlaciones lineales del laboratorio científico de física de la NOAA. Las precipitaciones de diciembre están asociadas de manera inversa con las TSM de agosto en el este y oeste del Pacífico sur, este del océano Atlántico norte, y océano Ártico. Las teleconexiones de diciembre se intensificaron durante octubre, noviembre y diciembre en el Pacífico occidental y en la región central del Pacífico ecuatorial. Desde septiembre, se observa un debilitamiento en las teleconexiones del Pacífico sur oriental y las del Atlántico norte. Las precipitaciones de diciembre en el centro de La Pampa, están asociadas principalmente a las TSM en el océano pacífico, las cuales podrán ser utilizadas en futuros estudios para predecir dichas precipitaciones. El efecto de otros índices oceánicos y atmosféricos debe ser analizado a fin de mejorar la predictibilidad de las precipitaciones en La Pampa.

ABSTRACT

Precipitation is key in rainfed productions such as those of La Pampa. The objective of the work was to evaluate the effect of the sea surface temperature (SST) on December rainfall in the central region of the agricultural area of La Pampa. For this, rainfall records from the Faculty of Agronomy Station (UNLPam) and the linear correlation tool from the NOAA Physics Scientific Laboratory were used. December precipitation is inversely

associated with August SST in the eastern and western South Pacific, eastern North Atlantic Ocean, and Arctic Ocean. December teleconnections intensified during October, November and December in the western Pacific and in the central equatorial Pacific region. Since September, a weakening has been observed in the teleconnections of the Eastern South Pacific and those of the North Atlantic. December rainfall in the center of La Pampa is mainly associated with SST in the Pacific Ocean, which may be used in future studies to predict such rainfall. The effect of other oceanic and atmospheric indices must be analyzed in order to improve the predictability of rainfall in La Pampa.

2. Palabras claves - Keywords.

Pronóstico estacional; clima; teleconexión.

Seasonal forecast; climate; teleconnection.

3. Introducción.

El clima está determinado por complejas interacciones entre muchos factores que afectan a los océanos, los continentes y la atmósfera. Un cambio en uno de ellos puede repercutir en todo el sistema. Los eventos climáticos y meteorológicos que experimentamos hoy en día ocurren en un mundo diferente a siglos pasados. La temperatura media de la atmósfera es más alta, los océanos también se están calentando y el hielo polar se está derritiendo, al igual que muchos glaciares. Los episodios de lluvia o nieve intensa se han vuelto más frecuentes y los períodos secos que median entre ellos duran más tiempo. Los ecosistemas también están cambiando, y, aunque en términos generales el tiempo que experimentamos

a diario nos sigue siendo familiar, se manifiestan pequeños cambios. De este modo, la mezcla de eventos atmosféricos evoluciona lentamente conforme algunos eventos se vuelven más probables y otros menos. Las alteraciones climáticas tales como excesos o deficiencias en las precipitaciones, temperaturas extremas y vientos fuertes entre otras, conducen a importantes pérdidas en el sector agropecuario. Estos impactos no son exclusivos de dicho sector, sino que son multisectoriales. Las actividades humanas que se desarrollan al aire libre están condicionadas en mayor o menor medida por la acción meteorológica y climática. Todos los años la manifestación imprevisible del clima provoca condiciones que afectan a la población y la actividad agropecuaria. Las fluctuaciones del clima afectan la producción agropecuaria, especialmente en aquellas regiones marginales para la producción como la región semiárida pampeana central (RSPC) de la Argentina donde se encuentra la provincia de La Pampa (Heinzenknecht, 2005).

La variabilidad climática (variaciones del estado medio) en los elementos del clima afecta a la producción agropecuaria ya que produce variaciones en los rendimientos de los cultivos en todo el mundo (IPCC, 2013; Ray *et al.*, 2015). La precipitación es el elemento del clima que más condiciona las producciones agropecuarias de secano y es un elemento sensible a la variabilidad y al cambio del clima (IPCC, 2007). Los cambios en la cantidad y variabilidad de precipitación en diferentes partes del mundo durante el siglo XX hicieron que algunas zonas se tornaran más húmedas y otras más áridas (New *et al.*, 2001; Dore, 2005). En Argentina, particularmente en la región pampeana, durante las últimas décadas, hubo un aumento de las precipitaciones (Berbery *et al.*, 2006) así como de su intensidad y sus eventos extremos (Penalba y Vargas, 2004; Haylock *et al.*, 2006). Estos incrementos, en las últimas tres décadas en el centro y este de Argentina, estuvieron concentrados en el semestre cálido (octubre a marzo), acompañados por un aumento de

la variabilidad (Serio y Martin, 2006). En la provincia de La Pampa, para el norte, centro y sur desde 1921 a 2000, los totales anuales de precipitación (julio a junio) presentaron una tendencia positiva, siendo el trimestre estival: enero, febrero y marzo el cual concentró el mayor aumento (Vergara *et al.*, 2005). Desde 1969 a 2009, se observó una disminución de las precipitaciones invernales (Russián *et al.*, 2015).

La producción agropecuaria en la provincia de La Pampa es vulnerable a las variaciones de la precipitación debido a que se realiza principalmente en condiciones de secano (FAO, 2017). La variabilidad espacio-temporal de las precipitaciones afectan las producciones de secano generando incertidumbre en los sistemas productivos (Sebalt, 2002; Travasso *et al.*, 2009). La producción agrícola y agrícola-ganadera de La Pampa se concentra en el centro-este y norte de la provincia (MAGyP, 2020). Los rendimientos de los principales cultivos de cosecha mostraron gran variabilidad en la provincia en los últimos 20 años (soja entre 1.076 kg.ha⁻¹ y 3.391 kg.ha⁻¹, maíz entre 2.980 kg.ha⁻¹ y 7.956 kg.ha⁻¹, y en trigo entre 989 kg.ha⁻¹ y 2.830 kg.ha⁻¹). Estas variaciones se debieron, principalmente, a la variabilidad de las precipitaciones durante el período crítico para la generación del rendimiento de los cultivos ya que, durante este período, existe una máxima sensibilidad al estrés hídrico (Satorre *et al.*, 2004; Magrin *et al.*, 2005).

Estudios previos para otras partes del mundo y la Argentina han determinado que una parte importante de la variabilidad de las precipitaciones esta modulada en gran medida por las temperaturas de los océanos (temperaturas de la superficie del mar, TSM) y otros índices climáticos como “El Niño-Oscilación del Sur” (ENOS o en inglés ENSO) (Silvestri y Vera, 2009; Travasso *et al.*, 2009; Pérez *et al.*, 2015). Dentro de los índices climáticos, el ENSO genera fluctuaciones del sistema global climático (Timmermann *et al.*, 2018). Se lo divide en condiciones o eventos de “El Niño” (fase cálida), “La Niña” (fase fría) y ENSO-Neutral o Neutro (fase neutral) (Trenberth, 1997; NOAA, 2021).

Existen diferentes regiones de “El Niño” en el Pacífico ecuatorial (Figura 1). Cada región de “El Niño” tiene características propias y muestra diferente asociación con fenómenos de precipitación y temperatura del aire a escala regional en diferentes partes del mundo (Travasso *et al.* 2003, 2009; Giddings y Soto, 2006 y Pérez 2015). La temperatura del océano en las diferentes regiones de “El Niño” (Figura 1) es monitoreada y la combinación de estas permite determinar distintas expresiones del fenómeno meteorológico.

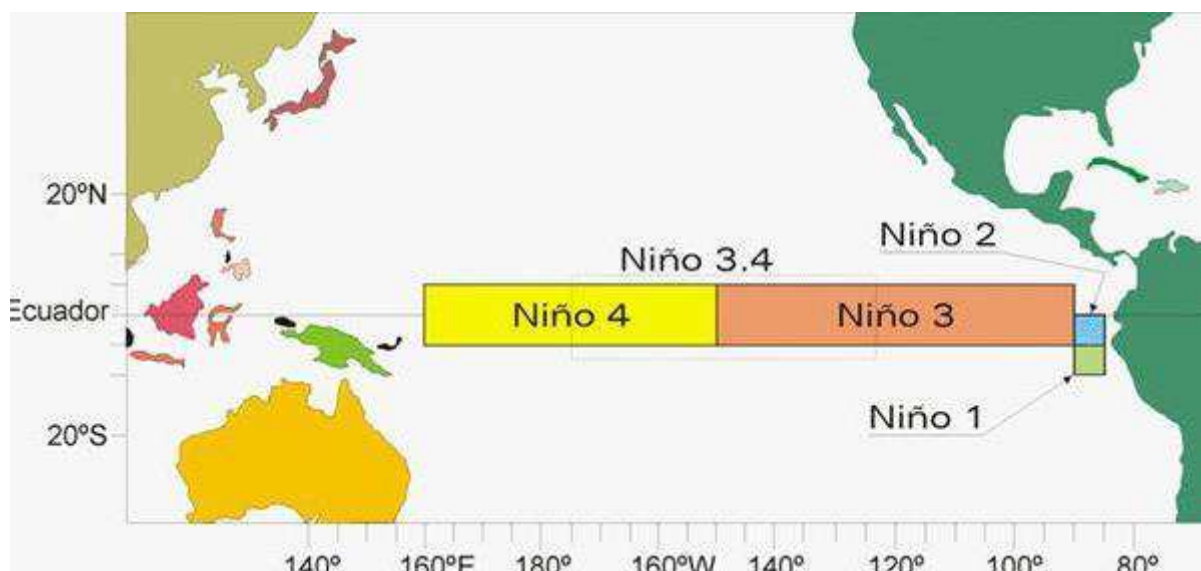


Figura 1. Regiones de “El Niño”.

Las precipitaciones en Sur América y la región pampeana se encuentran moduladas por las temperaturas de la superficie del mar (TSM o SST por sus siglas en inglés “*Sea Surface Temperatures*”) en el oeste subtropical del océano Atlántico sur y en la región del Pacífico ecuatorial del ENSO entre otros índices (Doyle y Barros, 2002; Silvestri y Vera, 2003, 2009; Travasso *et al.*, 2003, 2009; Giddings y Soto, 2006; Pérez *et al.*, 2015; Fernández, 2019). En La Pampa, los eventos “El Niño” producen incrementos en la precipitación media y los eventos “La Niña” disminuciones de la media, durante el

período noviembre-diciembre-enero (Moschini *et al.*, 1997; Sierra *et al.*, 2001). Heinzenknecht (2011) para el centro-norte de La Pampa, en el bimestre diciembre-enero, no encontró un comportamiento definido en el rendimiento de maíz con eventos “El Niño”, pero si lo encontró en “La Niña”, con una disminución del rinde. En el bimestre enero-febrero, para el rendimiento de la soja la relación con “El Niño” y “La Niña” en algunos departamentos fue indefinida o con rindes normales. En el bimestre octubre-noviembre, para el rendimiento de trigo ante eventos “El Niño” las relaciones fueron indefinidas o con rindes normales a bajos, en cambio en “La Niña” los rindes fueron normales a altos. A las asociaciones entre variables climáticas en zonas muy distantes entre sí se las conoce como teleconexiones. Debido al distanciamiento tanto espacial como temporal que se dan entre las variables, es complejo asociar que la variación de una puede influir en el comportamiento de la otra. Sin embargo, en el sistema climático existen mecanismos relacionados con la circulación atmosférica que permiten la propagación de estas variaciones a lo largo del espacio y el tiempo de la misma forma que cuando se arroja una piedra en un estanque (Murhpy y Hurtado, 2011). Si diferentes estudios previos han encontrado relaciones entre los índices climáticos y las precipitaciones y/o rendimientos de cultivos, no han analizado específicamente el efecto de las TSM en distintas regiones oceánicas sobre las precipitaciones de verano en el centro de la provincia de La Pampa. Es por esto que el objetivo general y los objetivos específicos de la presente tesis fueron:

- **OBJETIVOS**

Objetivo General

Estudiar la asociación entre las precipitaciones de la región central de La Pampa y las TSM.

Objetivos Específicos

- 1- Evaluar el efecto de la temperatura superficial del mar en distintas regiones de los océanos sobre las precipitaciones de diciembre en la región central del área agropecuaria de la provincia de La Pampa.
- 2- Determinar si las temperaturas oceánicas de hasta 5 meses previos están asociadas con las precipitaciones de diciembre en el centro de La Pampa.

- **HIPÓTESIS**

- 1- Las precipitaciones en Santa Rosa tendrán una correlación positiva y altamente significativa con la temperatura de la superficie del mar en la región de “El Niño 1, 2 y 3.4”.
- 2- La asociación entre las precipitaciones de diciembre en el centro del área agrícola de La Pampa y las temperaturas superficiales de los océanos será menor cuando mayor distancia en el tiempo haya entre las variables.

4. Materiales y métodos (o Metodología empleada).

Para alcanzar el objetivo 1 se procesaron los datos de precipitación mensuales de la estación Agrometeorológica “Ing. Lasalle” de la Facultad de Agronomía de la UNLPam para el periodo 1948-2015 (Figura 2). Esta estación es representativa de las precipitaciones del centro del área agrícola de la provincia de La Pampa.

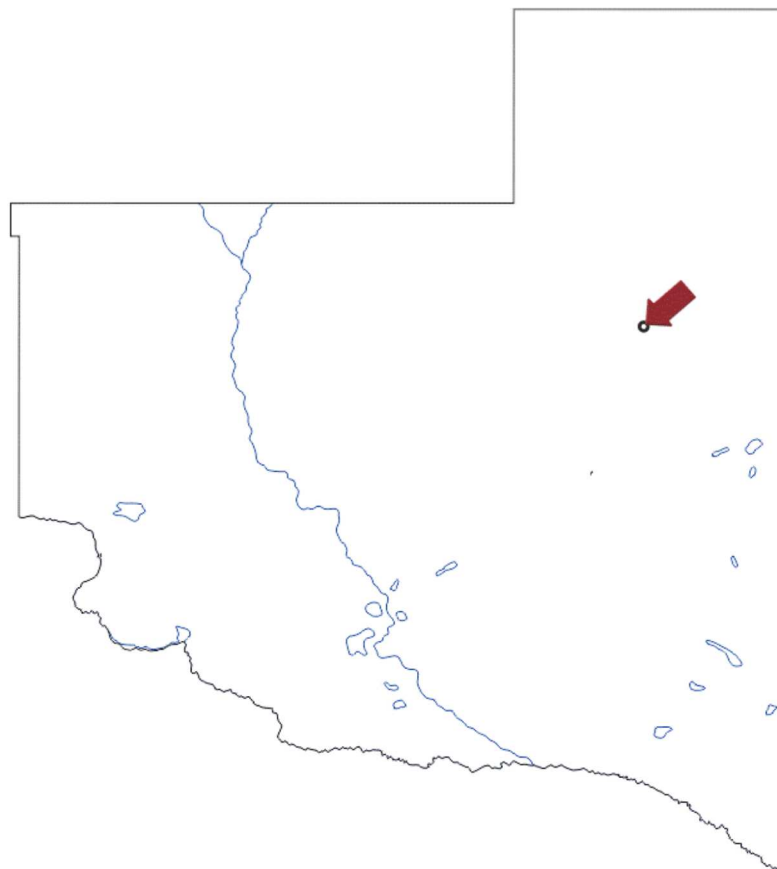


Figura 2: Ubicación de la Estación meteorológica “Ing. Lasalle” (Ubicación $36^{\circ}33'02.6''S$ $64^{\circ}17'49.0''W$, altura 210 m.s.n.m.).

Se confeccionó un archivo Excel con el formato específico para ser utilizado en el laboratorio virtual de física de la atmosfera de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, <https://psl.noaa.gov/data/correlation/>). Este archivo Excel fue convertido a formato .txt y posteriormente se cargó como archivo “.ftp (File Transfer

Protocol)” en la siguiente dirección web “ftp://ftp.cdc.noaa.gov/Projects/incoming/timeseries/”. Una vez cargado el archivo con los datos de precipitación de la Facultad de Agronomía se procedió al análisis de correlación lineal simple entre las precipitaciones de diciembre y las TSM en el laboratorio virtual de física de la atmosfera de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, <https://psl.noaa.gov/data/correlation/>). Las temperaturas del mar tuvieron un tamaño de grilla de 1° de latitud x 1° de longitud y se correlacionaron todas las temperaturas oceánicas disponibles con la precipitación de la Facultad de Agronomía (Figura 3). A partir de los valores de correlación entre las variables estudiadas se generó un mapa de contornos sobre los océanos que indica los valores de correlación.



Figura 3: Esquema de correlaciones de temperaturas oceánicas y precipitación

Para alcanzar el objetivo 2 se repitió el procedimiento descrito para el objetivo 1, utilizando las TSM de los meses de agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre. Se analizaron los mapas de correlaciones entre las variables estudiadas para cada uno de los meses y se determinó en qué regiones oceánicas se encuentran las asociaciones más altas entre variables, y en qué mes/meses las temperaturas oceánicas ofrecen el mejor valor predictivo de las precipitaciones de diciembre en el centro del área agrícola de provincia de La Pampa.

5. Resultados y discusión.

5.1 - Resultados

Los mapas de contornos obtenidos en el laboratorio virtual de física de la atmósfera de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, <https://psl.noaa.gov/data/correlation/>) muestran las teleconexiones entre las TSM y las precipitaciones del área agrícola pampeana objeto de estudio del presente trabajo (Figuras 4, 5, 6, 7 y 8). La Figura 4 muestra las correlaciones entre las temperaturas de los océanos en agosto y las precipitaciones de diciembre en la Facultad de Agronomía de la UNLPam entre 1948 y 2015. En el análisis más temprano muestra una relación directa y significativa entre las variables analizadas para la región por debajo de “El Niño 1” y “El Niño 4”. Los valores de correlación superiores a 0,3 e inferiores a -0,3 son significativos estadísticamente ($p < 0,01$). Valores positivos se asocian a una relación directa entre las variables analizadas (TSM y precipitación), indicando que un aumento en la TSM en esa región está asociado a un aumento en las precipitaciones. Por el contrario, valores negativos muestran una relación inversa entre las variables analizadas, indicando que un aumento en la TSM en esa región está asociado a una disminución en las precipitaciones.

En este sentido, las TSM de agosto muestran una relación inversa y significativa con la precipitación de diciembre en la Facultad de Agronomía, en las siguientes regiones:

- oeste del Pacífico sur (en las costas de Australia) entre 25° y 40° S; 160° E y 160° W
- este del Pacífico sur (en las costas del sur de Chile) 25° - 32° S; 75° - 70° W
- este del océano Atlántico norte (en el mar caribe) 20° - 25° N; 75° y 70° W
- Atlántico norte por debajo de Groenlandia 50° y 60° N; 60° - 30° W
- océano Ártico. 85° N ; 120° - 100° E

De este análisis surge que aumentos de TSM de las costas de Chile tienen un efecto positivo en las precipitaciones de la región central de La Pampa.

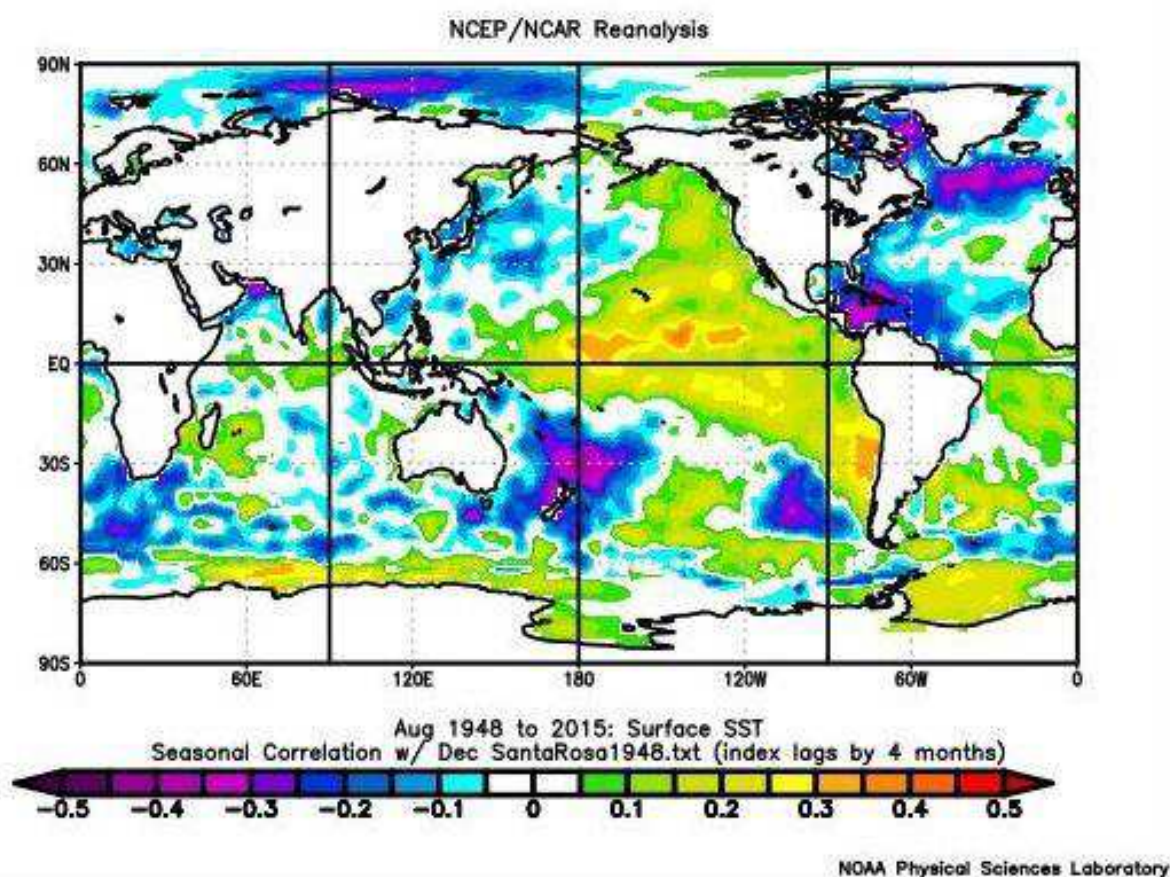


Figura 4. Teleconexión entre la temperatura del mar de agosto y las precipitaciones de diciembre de la Facultad de Agronomía de la UNLPam.

Las teleconexiones entre la TSM de septiembre y la precipitación de diciembre de la Facultad de Agronomía (Figura 5) muestran algunas similitudes y algunas diferencias respecto de agosto. El mes de septiembre marca un quiebre en las áreas de los océanos con teleconexiones. Hay un debilitamiento en las teleconexiones del Atlántico norte especialmente en el tamaño de la superficie del área que se relaciona con las precipitaciones de diciembre en la facultad. Desaparece la teleconexión del océano Ártico y queda reducida a la mínima expresión la del Pacífico oriental por debajo del de la región de “El Niño 1”, es decir en el este de Chile entre las latitudes y longitudes $75^{\circ} - 70^{\circ} W$; $25^{\circ} - 32^{\circ} S$. Se mantienen las teleconexiones del océano Pacífico sur oriental y occidental, y surge una nueva teleconexión en la parte occidental del Pacífico norte entre los $25^{\circ} N$ y los $120^{\circ} W$. También se observa un aumento en el área del océano Pacífico cercana a la región de “La Niña 4”.

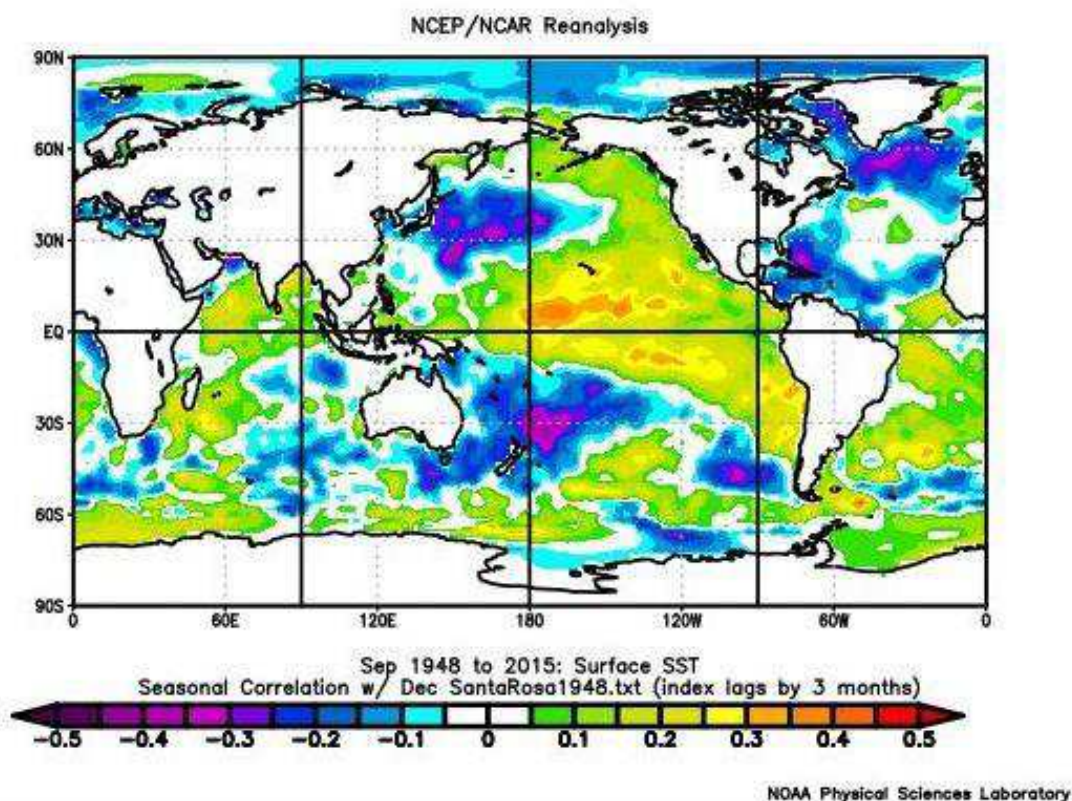


Figura 5. Teleconexión entre la temperatura del mar de septiembre y las precipitaciones de diciembre de la Facultad de Agronomía de la UNLPam.

En el mes de octubre hay un fortalecimiento en cuanto al área y la intensidad (valores de “r” positivos mayores y valores de “r” negativos menores) de las teleconexiones entre la temperatura del mar en el Pacífico occidental, tanto en el norte, como en el sur y en la región central del Pacífico ecuatorial entre los 150°- 100° W; los 0 °- 15° S (Figura 6). Se observa un debilitamiento en las teleconexiones del Pacífico sur oriental y las del Atlántico norte. Este debilitamiento en dichas regiones ya había comenzado a manifestarse durante el mes de septiembre.

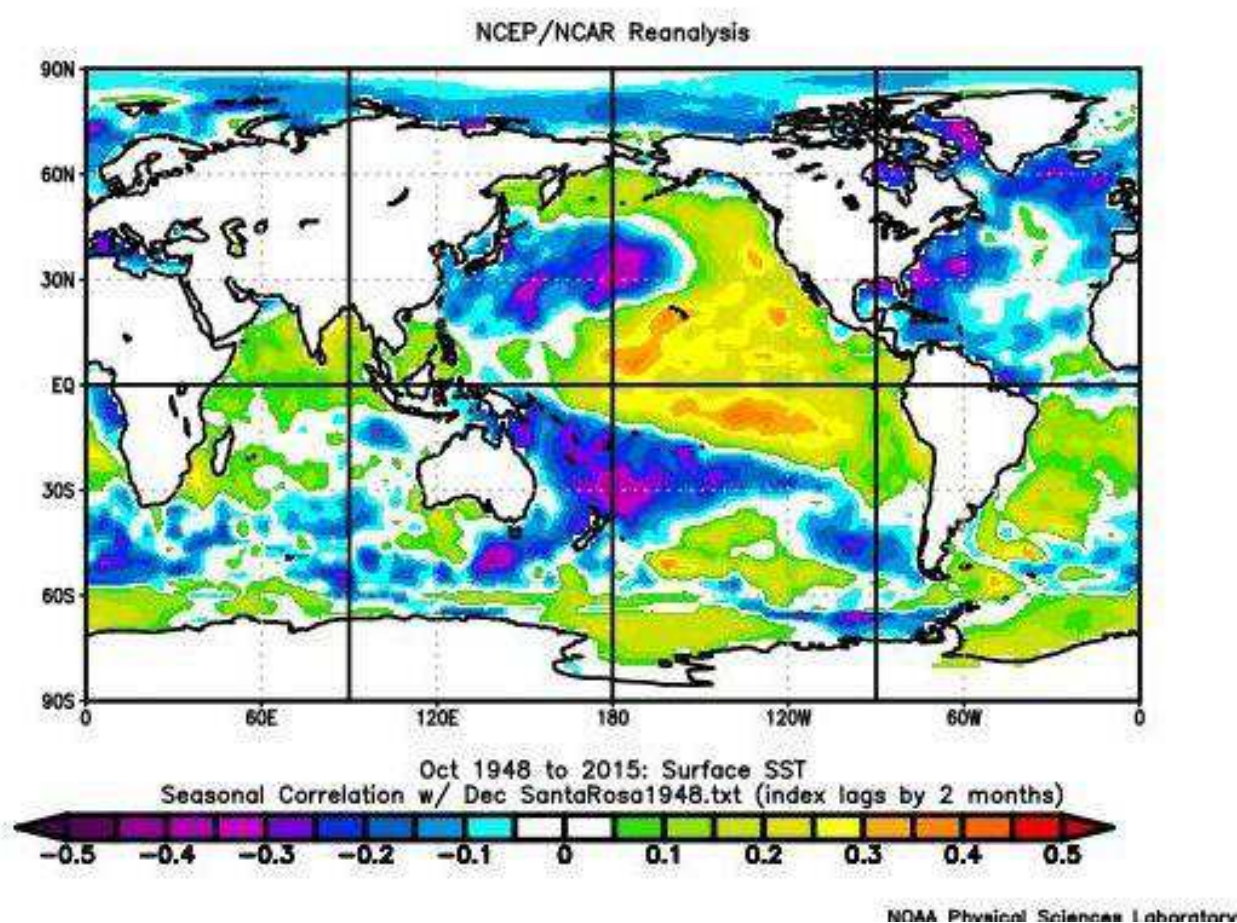


Figura 6. Teleconexión entre la temperatura del mar de octubre y las precipitaciones de diciembre de la Facultad de Agronomía de la UNLPam.

En el mes de noviembre, al igual que en octubre, hay un fortalecimiento en el área y la intensidad de las teleconexiones entre la temperatura del mar en el Pacífico occidental,

tanto en el norte, como en el sur y en la región central del Pacífico ecuatorial (Figura 7). En tanto que las teleconexiones del Atlántico norte continuaron debilitadas.

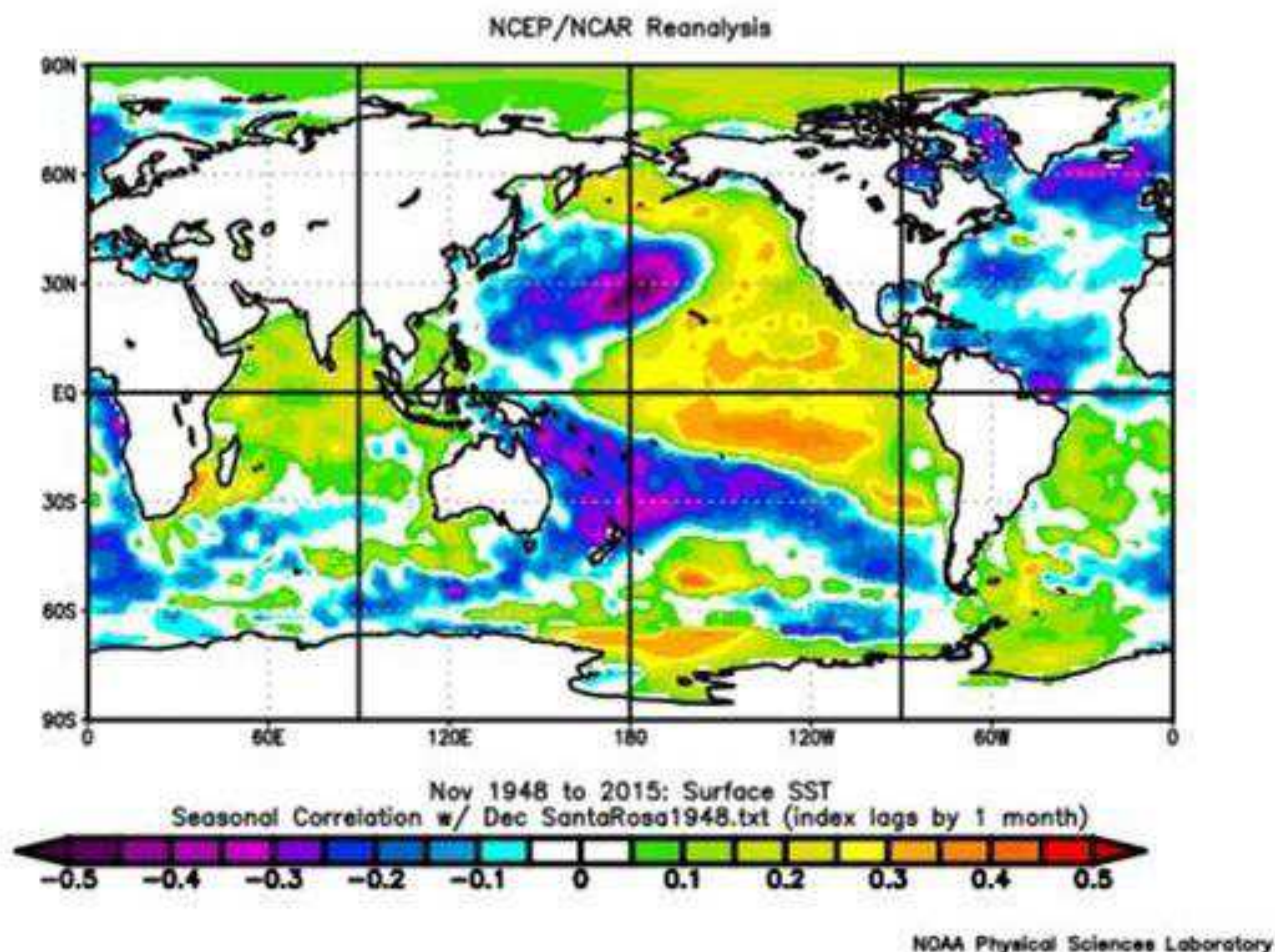


Figura 7. Teleconexión entre la temperatura del mar de noviembre y las precipitaciones de diciembre de la Facultad de Agronomía de la UNLPam.

En el mes de diciembre las teleconexiones del Pacífico ecuatorial central y del Pacífico occidental norte y sur se mantuvieron como en los meses anteriores, mostrando grandes áreas del océano con asociaciones positivas altamente significativas con las precipitaciones del mismo mes en la Facultad de Agronomía (Figura 8). Aumento en las temperaturas del océano en esa región para el mes de diciembre tiene un efecto positivo

sobre las precipitaciones para el mismo mes en la Facultad de Agronomía de la UNLPam. En este mes se detectaron dos teleconexiones adicionales, una de ellas en el océano Índico y otra en el océano Atlántico sur. Ambas teleconexiones mostraron una relación inversa altamente significativa, lo cual indica que un aumento en las TSM en dichas regiones está asociado con menores precipitaciones en el área de estudio.

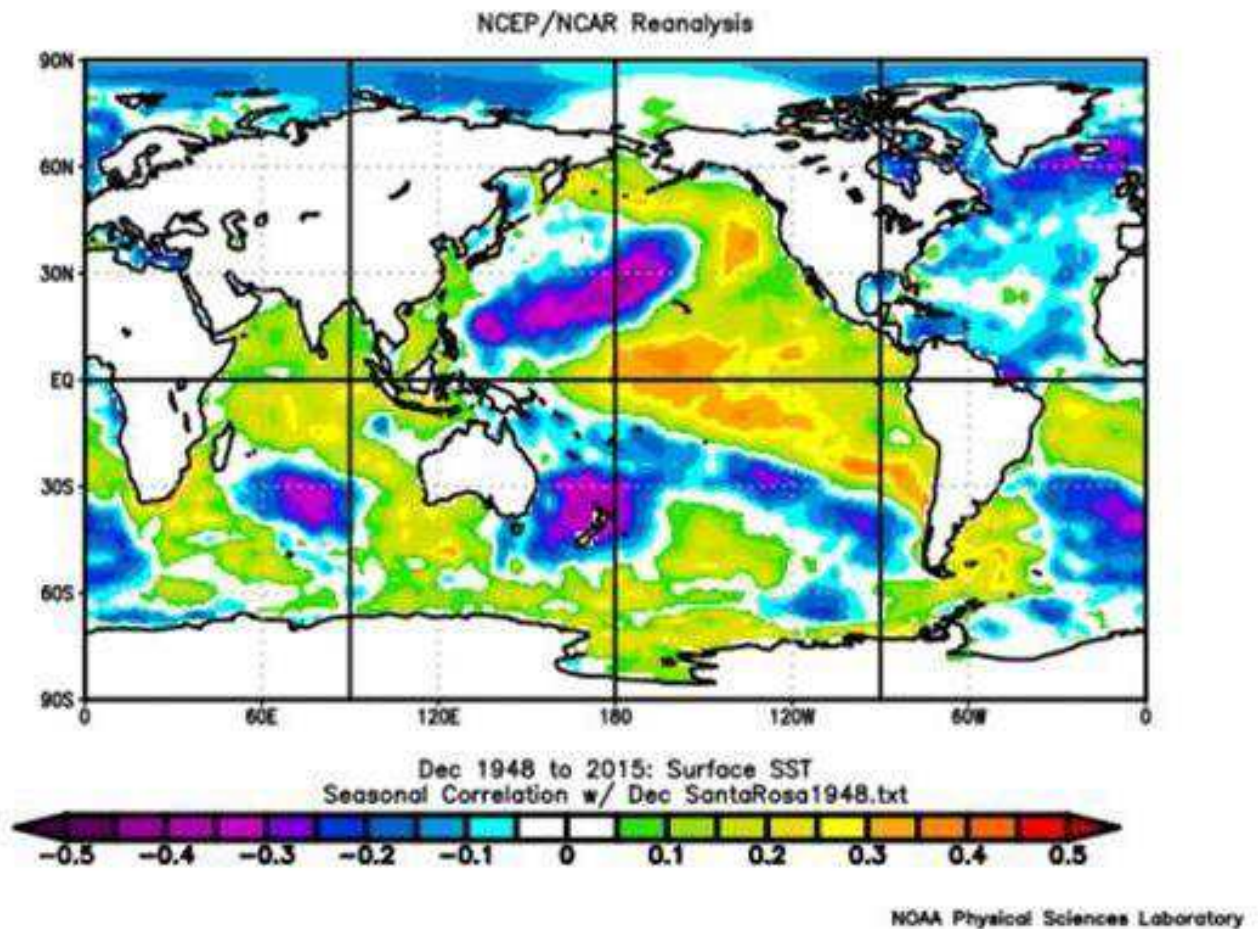


Figura 8. Teleconexión entre la temperatura del mar de diciembre y las precipitaciones de diciembre de la Facultad de Agronomía de la UNLPam.

5.2 - Discusión

Eventos EL NIÑO se relacionaron con aumentos en el rendimiento de cultivos estivales (principalmente maíz) en la región central de La Pampa (Heinzenknecht, 2005). Esta relación fue explicada por el aumento en las precipitaciones estivales durante condiciones EL NIÑO, los cuales se caracterizan por aumentos de la TSM en el Pacífico ecuatorial y oscilaciones de la presión atmosférica (Murhpy y Hurtado, 2011). Teniendo en cuenta esto, es importante destacar que en los resultados del presente trabajo se encontró una relación altamente significativa y directa entre las precipitaciones de diciembre y la TSM de esta región del océano. Lo cual nos lleva a inferir que es importante conocer con la mayor antelación posible cómo será el comportamiento de las TSM para poder inferir las precipitaciones en el mes de diciembre. En base a los resultados presentados por Angolani *et al.* (2021), quienes observaron las diferencias en las precipitaciones según sea la condición El Niño, La Niña o Neutro entre los meses de octubre y marzo, se puede observar que durante el mes de diciembre hay un aumento de las precipitaciones en eventos de tipo NIÑO. Esto pone en evidencia que aumentos de la TSM para ese mes tienen un impacto positivo sobre las precipitaciones para esa región. Por otra parte, por Bongianino *et al.* (2020) analizando la relación existente entre las precipitaciones del mes de diciembre y “El Niño” encontraron que hubo un aumento en las precipitaciones durante este evento.

Conocer las lluvias en el mes de diciembre puede favorecer a la toma de decisiones sobre en qué fechas realizar la siembra de cultivos. Tal como encontraron otros autores, en las fechas de primavera temprana los años El Niño mostraron los mejores comportamientos de la evolución del agua almacenada (Mendez *et al.* 2018). De esta manera, por ejemplo

para el cultivo de maíz, se podría optar por una siembra temprana para así apuntar a aprovechar mejor las condiciones ambientales y obtener mejores rendimientos.

Estudios en otras partes del mundo han mostrado el efecto de las TSM sobre las precipitaciones. Al respecto Bertachi Uvo *et al.* (1998) encontraron que las precipitaciones del Noreste de Brasil entre enero y mayo están asociadas débilmente a la TSM del Pacífico ecuatorial y fuertemente a la temperatura del Atlántico ecuatorial. Los resultados de esta tesis muestran que en la región central agrícola de la provincia de La Pampa hay una relación nula a débil de las precipitaciones de diciembre con las temperaturas del océano Atlántico en los meses previos. Sin embargo, cuando se comparan las precipitaciones de diciembre con las temperaturas del mar para el mismo mes, comienzan a observarse zonas del océano Atlántico con una relación directa con las precipitaciones. Es importante destacar esto, ya que pueden usarse estos datos para futuros modelos de predicción de las temperaturas para el océano Atlántico. La discrepancia entre estos resultados puede deberse principalmente a que los en Brasil y en La Pampa, la circulación atmosférica y los vientos predominantes difieren de manera marcada. Otro factor que puede explicar las diferencias entre estudios es que se realizaron para diferentes momentos del año.

Otros autores como Zhang *et al.* (2022), que estudiaron las relaciones entre la TSM y las precipitaciones de Sud América, encontraron que hay un retraso de 1 a 2 meses entre la ocurrencia de precipitaciones y el registro de datos de la TSM para la región del Pacífico ecuatorial, precisamente la región del NIÑO 1+2 y el norte del Atlántico ecuatorial. Sin embargo, en el presente trabajo, como se mencionó anteriormente, se observa una baja o nula asociación entre las variables estudiadas en las regiones de “El Niño”, aunque se observaron fuertes asociaciones en regiones cercanas a las de “El Niño”. Esta discrepancia puede deberse en gran medida a que Zhang *et al.* (2022) estudiaron toda Sud

América y en este trabajo solamente se estudió la región agrícola central de la provincia de La Pampa. Sin embargo, cuando se analizan las temperaturas de las demás áreas bajo estudio con uno y dos meses de retraso se observa que hay un aumento progresivo tanto en el grado de asociación positiva entre las variables y la superficie del océano Pacífico ecuatorial más precisamente las regiones del NIÑO 3; NIÑO 3,4 y NIÑO 4.

Los resultados de esta tesis muestran que a medida que las TSM son más cercanas a diciembre las teleconexiones con las precipitaciones son mayores. Esto coincide con los resultados de Zhang et al. (2022) quienes encontraron las precipitaciones de Sud América están asociadas con la TSM de 1 a 2 meses previos. Sin embargo las teleconexiones de estos meses tienen escasa utilidad predictiva desde el punto de vista práctico, dado que las temperaturas del océano son informadas al principio del mes siguiente. Lo que significa, que TSM de octubre y noviembre son informadas al comienzo de noviembre y diciembre. Sin embargo, estas pueden ser utilizadas en conjunto con los modelos de pronósticos de las TSM, para conocer de manera anticipada (hasta 7 meses previos) las temperaturas esperadas para noviembre en las regiones del océano analizadas (Kirtman et al., 2014; <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/NMME/monanom.shtml>). La habilidad predictiva de los modelos oceánicos es más alta en el Pacífico ecuatorial y es menor en el resto de las áreas oceánicas (Kirtman et al., 2014, https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/NMME/maskmonanom_body.shtml). También es importante considerar que la habilidad (menor error) predictiva de los pronósticos de temperaturas de los océanos aumenta de manera marcada en la medida que son más cercanos a la fecha pronosticada (*National Weather Service Climate Prediction Center* 2022). En el último tiempo la comprensión de los procesos atmosféricos y la predicción del clima estacional a escala continental y regional ha mejorado sustancialmente (Klemm y McPherson, 2017). Sin embargo, son necesarios más esfuerzos a escala de subregión

donde la habilidad predictiva de los modelos es deficitaria. Los resultados del presente trabajo representan el puntapié inicial para desarrollar modelos de pronósticos estacionales para la zona de La Pampa. Esto permitiría una mejor gestión de los cultivos y de los riesgos potenciales que pudieran ocasionar las variaciones climáticas. Estos resultados permiten identificar el rol de las distintas regiones oceánicas en las precipitaciones de diciembre en el centro de La Pampa. Esta información podrá ser utilizada en futuros estudios enfocados a predecir y estimar las precipitaciones a partir de las TSM. Sin embargo, hay que tener presente que no toda la variabilidad de las precipitaciones es explicada por la TSM y que otros procesos atmosféricos en determinados momentos ejercen mayor influencia (Hernández y Zambrano Quiñonez, 2009).

6.- Conclusiones.

Las precipitaciones de diciembre en el centro de La Pampa están asociadas con las TSM de al menos 5 meses previos. Estas teleconexiones ocurren principalmente en el océano pacífico ecuatorial (cercanas a las regiones EL NIÑO), en el pacífico sur occidental y en el atlántico norte occidental. En la medida que las TSM consideradas se aproximaron a diciembre las teleconexiones en el océano pacífico se intensificaron y las del océano atlántico norte se debilitaron. Las TSM del océano atlántico sur de diciembre mostraron una teleconexión con las precipitaciones del mismo mes. Esta teleconexión carece de valor predictivo en la actualidad dado que las TSM de diciembre son publicadas a principio de enero y los modelos de circulación oceánica carecen de habilidad predictiva en dicha región. Sin embargo, dicha teleconexión podrá ser de utilidad cuando los modelos de circulación oceánica mejoren su habilidad predictiva en el atlántico sur. Los resultados de esta tesis muestran que existen teleconexiones entre las precipitaciones y

la TSM de por lo menos 5 meses antes. Estos resultados alientan a futuras investigaciones a utilizar las TSM, en las regiones encontradas en este estudio, como variables predictoras que permitan estimar la precipitación de los meses de verano. Teniendo en cuenta las fechas en que se publican las TSM (el primer día del mes siguiente) y las fechas de siembra de los principales cultivos estivales de la región (soja “*Glycine max*”, maíz “*Zea mays*” y girasol “*Helianthus annuus*”), las TSM de agosto y septiembre serían las que permiten una mejor predicción para la toma de decisiones en cuanto a la planificación de las actividades.

7. Agradecimientos.

- A la Universidad Nacional de La Pampa, por permitirnos una formación profesional libre, gratuita y de calidad.
- A la Facultad de Agronomía de la UNLPam por brindarnos un lugar de trabajo y hacer posible la realización de esta tesina.
- A nuestro director Mariano Méndez, y codirector Diego Riestra por brindarnos sus conocimientos, su tiempo, dedicación y apoyo en todo momento.
- A nuestra familia por el apoyo y la contención brindada a lo largo de estos años.

8.- Bibliografía.

- Angolani, D. H., Leonhardt, D. A., Bongianino, S., & Méndez, M. (2021). Análisis de las precipitaciones de General Acha y su importancia para los verdeos de invierno. AER General Acha, INTA.

- Berbery, E. H., Doyle, M. & Barros, V. (2006). Tendencias regionales en la precipitación. El cambio climático en la Cuenca del Plata. CONICET, Buenos Aires, 67-92.
- Bongianino, S.; Mendez, M.; Casagrande, G. y Vergara, G. (2020) PROBABILIDAD DE PRECIPITACIONES SEGÚN EVENTOS DE EL NIÑO-OSCILACIÓN DEL SUR PARA GENERAL PICO LA PAMPA. Trabajo presentado en XVIII Reunión Argentina y XI Latinoamericana de Agrometeorología
- Dore, M. H. (2005). Climate change and changes in global precipitation patterns: what do we know?. *Environment international*, 31(8), 1167-1181. DOI: 10.1016/j.envint.2005.03.004
- Doyle, M. E. & Barros, V. R. (2002). Midsummer low-level circulation and precipitation in subtropical South America and related sea surface temperature anomalies in the South Atlantic. *Journal of Climate*, 15(23), 3394-3410. DOI: 10.1175/1520-0442(2002)015<3394:MLLCAP>2.0.CO;2
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2017). Gestión integral del riesgo de desastres en el sector agrícola y la seguridad alimentaria en los países del CAS. Análisis de Capacidades Técnicas e Institucionales. Argentina. Recuperado de <http://www.fao.org/3/I8187ES/i8187es.pdf>
- Fernández, M. Á. (2019). Predicción del rendimiento en grano de trigo en la región subhúmeda-seca pampeana en base a diferentes índices climáticos. *Semiárida*, 29(2), 61-72. DOI: 10.19137/semiarida.2019(02).61-72
- Giddings, L. & Soto, M. (2006). Teleconexiones y precipitación en América del Sur. *Revista de climatología*, 6, 13-20. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/26226405.pdf>

- Haylock, M. R., Peterson, T. C., Alves, L. M., Ambrizzi, T., Anunciação, Y. M. T., Baez, J., ... & Vincent, L. A. (2006). Trends in total and extreme South American rainfall in 1960–2000 and links with sea surface temperature. *Journal of climate*, 19(8), 1490-1512. DOI: 10.1175/JCLI3695.1
- Heinzenknecht, G. M. (2005). Subproyecto “riesgo y seguro agropecuario”. Impacto de “El Niño” y “La Niña” sobre los rendimientos de los principales cultivos de las provincias de la región pampeana.
- Heinzenknecht, G. M. (2011). Proyecto “riesgo y seguro agropecuario”. Oficina de Riesgo Agropecuario. Recuperado de <http://www.ora.gov.ar/informes/enso.pdf>
- Hernández, F., & Zambrano Quiñonez, E. (2009). Relación entre la temperatura superficial del mar del Océano Pacífico Oriental y las precipitaciones en la costa del Ecuador.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2013). Annex III: Glossary [Planton, S. (ed.)]. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2007). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jönsson, A. M., & Lagergren, F. (2017). Potential use of seasonal forecasts for operational planning of north European forest management. *Agricultural and Forest Meteorology*, 244, 122-135.

- Kirtman, B.P., Min, D., Infanti, J.M., Kinter, J.L., III, Paolino, D.A., Zhang, Q., ... & Wood, E.F. (2014). The North American Multimodel Ensemble: Phase-1 Seasonal-to-Interannual Prediction; Phase-2 toward Developing Intraseasonal Prediction, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 95(4), 585-601. Retrieved Feb 24, 2022, from <https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/95/4/bams-d-12-00050.1.xml>
- Klemm, T., & McPherson, R. A. (2017). The development of seasonal climate forecasting for agricultural producers. *Agricultural and forest meteorology*, 232, 384-399.
- Magrin, G. O., Travasso, M. I. & Rodríguez, G. R. (2005). Changes in climate and crop production during the 20th century in Argentina. *Climatic change*, 72(1), 229-249. DOI: 10.1007/s10584-005-5374-9
- MAGyP (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Argentina). (2020). Dirección Nacional de Agricultura - Estimaciones Agrícolas. Consultado el 24/09/2020. Recuperado de <https://datos.agroindustria.gob.ar/dataset/estimaciones-agricolas>
- Mariano Javier, M., Bongianino, S., Casagrande, G., & Vergara, G. (2018). Impact of ENSO (El Niño southern Oscillation) and sowing date on soil water storage evolution in corn. *SEMIÁRIDA-Revista de la Facultad de Agronomía UNLPam*, 28(1), 11-22.
- Moschini, R. C., Casagrande, G., Vergara, G. T. & Conti, H. A. (1997). Efectos del ENSO sobre las probabilidades de períodos secos derivadas de modelos markovianos de primer orden, en La Pampa. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 17(1), 71-76. Recuperado de <http://ri.agro.uba.ar/files/download/revista/facultadagronomia/1997moschinirc.pdf>
- Murphy, G. M., & Hurtado, R. H. (2011). *Agrometeorología* (ISBN 978-950-29-1324-7). Editorial Facultad de Agronomía, UBA.
- National Weather Service Climate Prediction Center. <https://www.cpc.ncep.noaa.gov>

- New, M., Todd, M., Hulme, M., & Jones, P. (2001). Precipitation measurements and trends in the twentieth century. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 21(15), 1889-1922. DOI: 10.1002/joc.680
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). (2021). Equatorial Pacific Sea Surface Temperatures. Recuperado de <https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/indicators/sst/>
- Penalba, O. C. & Vargas, W. M. (2004). Interdecadal and interannual variations of annual and extreme precipitation over central-northeastern Argentina. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 24(12), 1565-1580. DOI: 10.1002/joc.1069
- Pérez, S., Sierra, E., Momo, F. & Massobrio, M. (2015). Changes in average annual precipitation in Argentina's Pampa region and their possible causes. *Climate*, 3(1), 150-167. DOI: 10.3390/cli3010150
- Ray, D. K., Gerber, J. S., MacDonald, G. K. & West, P. C. (2015). Climate variation explains a third of global crop yield variability. *Nature communications* 6:5989. DOI: 10.1038/ncomms6989
- Russián, G. F., Agosta Scarel, E. A. & Compagnucci, R. H. (2015). Variaciones en baja frecuencia de la precipitación estacional en la región Pampa amarilla y posibles forzantes. *Meteorológica*, 40(1), 17-42. Recuperado de http://www.meteorologica.org.ar/wp-content/uploads/2016/05/Russian_et_al_Meteorologica_V40N1.pdf
- Satorre, E. H., Benech Arnold, R. L., Slafer, G. A., De la Fuente, E. B., Miralles, D. J., Otegui, M. E. & Savin, R. (2004). Producción de granos. bases funcionales para su manejo. Editorial Facultad Agronomía. Universidad de Buenos Aires (Argentina). 783 p.
- Sebalt, W. (2002). Relación agricultura-ganadería en la zona semiárida de la región pampeana, área comprendida por los partidos de Villarino, Patagones y sur de Puan como

alternativas para optimizar la empresa agropecuaria. Tesis de maestría, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.

- Serio, L. A. & Martin, P. B. (2006). Cambios en los valores centrales y extremos de las distribuciones mensuales de precipitación en el centro-este de Argentina. Actas de la XI Reunión Argentina de Agrometeorología. La Plata, 6, 279-280.

- Sierra, E. M., Pérez, S., Casagrande, G. & Vergara, G. T. (2001). Efectos del ENSO sobre las precipitaciones del trimestre noviembre-enero (1921-1998) en el centro-este de la provincia de La Pampa [Argentina]. Revista argentina de agrometeorología, 1(2), 83-87.

- Silvestri, G. & Vera, C. (2009). Nonstationary impacts of the southern annular mode on Southern Hemisphere climate. *Journal of Climate*, 22(22), 6142-6148. DOI: 10.1175/2009JCLI3036.1

- Silvestri, G. E. & Vera, C. S. (2003). Antarctic Oscillation signal on precipitation anomalies over southeastern South America. *Geophysical Research Letters*, 30(21), 2115. DOI: 10.1029/2003GL018277

- Timmermann, A., An, S. I., Kug, J. S., Jin, F. F., Cai, W., Capotondi, A., ... & Zhang, X. (2018). El Niño–southern oscillation complexity. *Nature*, 559(7715), 535-545. DOI: 10.1038/s41586-018-0252-6

- Travasso, M. I., Magrin, G. O. & Rodríguez, G. R. (2003). Relations between sea-surface temperature and crop yields in Argentina. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 23(13), 1655-1662. DOI: 10.1002/joc.957

- Travasso, M. I., Magrin, G. O., Grondona, M. O. & Rodríguez, G. R. (2009). The use of SST and SOI anomalies as indicators of crop yield variability. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 29(1), 23-29. DOI: 10.1002/joc.1701

- Trenberth, K. E. (1997). The Definition of El Niño. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(12), 2771-2778. DOI: 10.1175/1520-0477(1997)078<2771:TDOENO>2.0.CO;2
- Uvo, C. B., Repelli, C. A., Zebiak, S. E., & Kushnir, Y. (1998). The relationships between tropical Pacific and Atlantic SST and northeast Brazil monthly precipitation. *Journal of climate*, 11(4), 551-562.
- Vergara, G. T., Casagrande, G., Sierra, E., Pérez, S. & Brevedan, E. (2005). Comportamiento de las precipitaciones (1921/2000) en el este de la provincia de La Pampa (Argentina). *Semiárida*, 16(1/2), 3-13. Recuperado de <https://cerac.unlpam.edu.ar/index.php/semiaria/article/view/4617/4762>
- Vergara, G. T., y Casagrande, G. A. (2012). Estadísticas agroclimáticas de la Facultad de Agronomía, Santa Rosa, La Pampa, Argentina 1977-2010. *Revista de la Facultad de Agronomía*. Volumen 22. Serie suplemento N° 1.
- Zhang, C., Huang, G., Yan, D., Wang, H., Zeng, G., Wang, S., & Li, Y. (2022). Analysis of South American climate and teleconnection indices. *Journal of Contaminant Hydrology*, 244, 103915.